

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

СЕМІРНЕНКО СВІТЛАНА ЛЕОНІДІВНА

УДК 62-664.263

**ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ ЗА
РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ БІОМАСИ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Сумському національному аграрному університеті
Міністерства аграрної політики та продовольства України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Довжик Михайло Якович,
Сумський національний аграрний університет,
доцент кафедри тракторів та
сільськогосподарських машин

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Мироненко Валентин Григорович,
Національний науковий центр «Інститут механізації
та електрифікації сільського господарства», НААН
України, заступник директора з наукової роботи

доктор технічних наук, професор,
Касімов Олександр Меджитович,
ДП «УкрНТЦ «Енергосталь»,
головний науковий співробітник

Захист відбудеться «23» травня 2014 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.04 в Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова 2, корп. Ц, ауд. 204.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2

Автореферат розісланий « » квітня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Л.Л. Гурець

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В Україні одним із найбільших джерел забруднення атмосферного повітря є енергетика, яка також являється головним споживачем імпортованих енергетичних ресурсів, що призводить до загрози національній безпеці країни. Це стосується як власне енергетики, так і підприємств малої енергетики, тому надзвичайно важливою є інтеграція енергетики й екології.

Одним із вагомих джерел відновлювальних ресурсів є біомаса агропромислового комплексу, зокрема солома, надлишки якої спалюються прямо на полях. Упровадження технологій переробки соломи з енергетичною метою дає змогу в багатьох випадках зменшити витрати на утилізацію відходів та одержати додатковий економічний та екологічний ефекти.

Рациональне використання соломи в якості палива потребує удосконалення наявних, створення нових, екологічно безпечних технологічних процесів та устаткування, що забезпечують рациональне використання природних ресурсів, додержання нормативів шкідливих впливів на довкілля.

Незважаючи на накопичені наукові здобутки та практичний досвід у сфері утилізації біомаси, подальшої активізації потребують дослідження по вирішенню актуального завдання – зниження техногенного навантаження довкілля за рахунок удосконалення технології утилізації невикористаної в сільськогосподарському виробництві рослинної біомаси з отриманням брикетів із певними фізико-механічними властивостями. Актуальність, теоретична і практична значимість цих питань зумовили вибір теми, мети та задач дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано згідно з планом науково-дослідної роботи кафедри «Проектування технічних систем» Сумського національного аграрного університету в рамках завдань науково-технічної програми Міністерства освіти і науки України «Дослідження впливу фізико-механічних властивостей на виготовлення паливних брикетів із соломи» (ДР № 0111U009466); «Зниження техногенного навантаження на довкілля за рахунок удосконалення технології утилізації біомаси» (ДР № 0113U004782). Крім того виконувалась госпдоговірна тема (договір № 19/9/9 від 19.09.2013 р.) «Впровадження технології сушки паливних брикетів із соломи з використання рециркуляції повітря» між Сумським національним аграрним університетом й ТОВ НВП «Електромаш» (м. Суми), в якій автор була керівником.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є зменшення техногенного впливу на навколишнє природне середовище шляхом ефективної утилізації надлишку солом'яної біомаси.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести оцінку енергопотенціалу соломи та особливостей використання солом'яної біомаси для виявлення резервів її застосування в енергетичних цілях;
- обґрунтувати вибір солом'яної біомаси для виготовлення паливних брикетів виходячи з об'ємів накопичення, основних паливно-технологічних характеристик, аналізу проблем при спалюванні соломи в котлах та можливості утилізації золи;

- провести теоретичні дослідження процесу охолодження та сушки паливних брикетів при застосуванні тепла брикетів від нагріву при пресуванні для удосконалення технології їх виготовлення;

- провести експериментальні дослідження процесу брикетування солом'яної біомаси та на їх основі розробити математичну модель оптимального поєднання фізико-механічних властивостей соломи та режиму роботи преса, що забезпечить отримання брикетів необхідної щільності;

- провести експериментальні дослідження процесу охолодження та сушки паливних брикетів з метою підтвердження можливості використання тепла брикетів від нагріву при пресуванні для їх сушки;

- визначити можливість зниження техногенного навантаження на довкілля за рахунок заміщення вугілля брикетами із солом'яної біомаси;

- визначити енергетичні, економічні та екологічні переваги удосконаленої технології виготовлення паливних брикетів;

- впровадити результати досліджень в практику виготовлення паливних брикетів із солом'яної біомаси.

Об'єкт дослідження – солом'яна біомаса, яка придатна для використання в енергетичних цілях.

Предмет дослідження – удосконалення технології виготовлення паливних брикетів із солом'яної біомаси з метою зниження негативного навантаження на довкілля.

Методи дослідження. В роботі оцінка енергопотенціалу солом'яної біомаси виконувалась на основі системного аналізу. Теоретичні дослідження базуються на використанні класичних положень теплотехніки. Експерименти здійснювались з використанням методів планування багатофакторних експериментів, регресійного аналізу, статистичних методів обробки даних, стандартного та спеціально створеного експериментального обладнання.

Вологість соломи визначали згідно з КНД 46.16.02.08-95 "Техніка сільськогосподарська. Методи визначення умов випробувань". Міцність брикетів визначалась згідно ДСТУ-П CEN/TS 15210-2:2009 Біопаливо тверде. Методи визначення механічної міцності паливних гранул та брикетів. Брикети.

Для обробки експериментальних результатів досліджень застосовані основні методи математичної статистики. Експериментальні дані опрацьовували за допомогою прикладних програмних пакетів Microsoft Office Excel 2007, Компас 3D-V13, STATISTICA 6.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- дістало подальшого розвитку визначення енергетичного потенціалу солом'яної біомаси по валовому збору зерна;

- вперше обгрунтовано використання в енергетичних цілях соломи озимої пшениці виходячи з об'ємів накопичення, основних паливно-технологічних характеристик, аналізу проблем при спалюванні соломи в котлах та можливості утилізації золи;

- вперше проведені теоретичні та експериментальні дослідження процесу охолодження та сушки паливних брикетів із солом'яної біомаси при застосуванні тепла брикетів від нагріву при пресуванні;

- вперше розроблена математична модель оптимального поєднання фізико-механічних властивостей соломи та режиму роботи преса, що забезпечить отримання брикетів необхідної щільності;
- набуло подальшого розвитку обґрунтування зниження техногенного навантаження на довкілля за рахунок заміщення вугілля солом'яною біомасою;
- вперше запропонована удосконалена технологія виготовлення паливних брикетів із солом'яної біомаси.

Практичне значення одержаних результатів. На основі отриманих результатів досліджень розроблено технологію утилізації солом'яної біомаси без попередньої сушки соломи. Використання даної технології забезпечує спрощення технологічного процесу виготовлення паливних брикетів, зменшення енергетичних витрат та забезпечення зниження техногенного навантаження при спалюванні брикетів із солом'яної біомаси.

Матеріали дисертаційної роботи впроваджені на ТОВ «Сумифітофармація» (м. Суми), Дослідній станції луб'яних культур Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН (м. Глухів), ТОВ НВП «Електромаш» (м. Суми).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є завершеним дослідженням автора у галузі екологічної безпеки. Результати теоретичних та експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані самостійно. Серед них: оцінка енергопотенціалу соломи озимої пшениці з урахуванням зміни її валового збору; обґрунтування вибору соломи для виготовлення паливних брикетів; теоретичні дослідження процесу охолодження та сушки паливних брикетів при застосуванні тепла брикетів від нагріву під час пресування; дослідження фізико-механічних властивостей соломи як енергетичної сировини та їх впливу на щільність паливних брикетів; планування експерименту, обробка і аналіз експериментальних даних; удосконалення технології виробництва паливних брикетів; розрахунок можливого зниження техногенного навантаження на довкілля при заміщенні вугільного палива солом'яною біомасою, формулювання наукових висновків.

Вибір теми дисертаційної роботи, постановку задачі дослідження, обговорення отриманих результатів відбувалося спільно з науковим керівником.

Внесок автора у роботах, опублікованих у співавторстві, наведений у списку опублікованих праць за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та були схвалені на 12 наукових конференціях: науково-практичних конференціях викладачів, аспірантів та студентів СНАУ (Суми, 2009-2013 р.р.); Всеукраїнській студентській, аспірантській та викладацькій науково-практичній конференції: «Досягнення та перспективи галузі сільськогосподарського виробництва» (Кіровоград, 2011 р.); Дев'ятій міжнародній науково-методичній конференції «Інженерно-технічне забезпечення інноваційних технологій сервісу машин» (Харків, 2011 р.), по результатам якої опубліковано статтю; Десятій Міжнародній науково-методичній конференції «Інноваційні напрямки розвитку технічного сервісу машин» (Харків, 2012), по результатам якої опубліковано статтю; Міжнародному симпозиумі «Аграрна освіта і наука в контексті розвитку АПК» (Суми, 2012 р.); 17-й і 18-й

міжнародних науково-методичних конференціях «Технології XXI століття» (Алушта, 2011, 2012 р.р.); Міжнародній науковій сесії «Інноваційні проекти в галузі технічного сервісу машин» (Харків, 2013 р.), по результатах якої опубліковано статтю.

Публікації. Основні положення дисертації відображені в 18 наукових працях, з них: 1 монографія у співавторстві, 9 наукових статей, із яких 7 статей у наукових фахових виданнях, що затверджені переліком МОН України, 2 статті у спеціалізованих зарубіжних виданнях та 8 тез доповідей на конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, шести розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи становить 157 сторінок; включаючи 24 таблиці, 21 рисунок, 9 додатків. Бібліографія містить 131 літературних джерел на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, відображений зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та завдання досліджень, визначено об'єкт і предмет досліджень, охарактеризовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі проаналізовано загальні екологічні проблеми, зумовлені виробничою діяльністю підприємств паливно-енергетичного комплексу та намічені шляхи їх розв'язання через розвиток нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, серед яких солом'яна біомаса може стати важливою складовою.

Проведений аналіз традиційних методів утилізації соломи, екологічних аспектів її енергетичного використання, характеристик соломи як палива. Обов'язковою умовою використання біомаси в енергетичних цілях є доведення її вологості до значення, яке забезпечує найбільш повне згорання. Тобто якісне використання біомаси досягається за рахунок додаткових вкладень, які підвищують вартість палива, і, відповідно, собівартість виробленої енергії, що пов'язано з досить складною і енергоємною технологією сушки.

Отримання палива із соломи шляхом брикетування знімає ряд проблем (зберігання сировини незалежно від пори року, складування, перевезення, автоматизації завантаження та ін.) і робить таке паливо універсальним як з погляду методів спалювання, так і з погляду кола споживачів.

Питання сушки соломи для виготовлення паливних брикетів та їх охолодження вивчені досить широко і описані в літературних джерелах, але питання сушки паливних брикетів із соломи з підвищеною вологістю за рахунок тепла від нагріву при пресуванні брикетів досліджені не достатньо.

Результати проведеного аналізу надали можливість сформулювати поставлені в дисертаційній роботі наукові задачі, визначити напрямки подальших теоретичних та експериментальних досліджень.

У другому розділі описані об'єкт та методи дослідження, методика оцінки енергетичного потенціалу солом'яної біомаси та розрахунку викидів при заміщенні викопних палив солом'яною біомасою, умови проведення експериментальних досліджень та методика математичного планування експерименту.

Для проведення попередніх експериментальних досліджень було створено лабораторні установки:

- для виготовлення солом'яних брикетів з метою визначення впливу основних фізико-механічних властивостей соломи на пресування паливних брикетів (рис.1);
- для дослідження процесу охолодження та сушки паливних брикетів за рахунок використання тепла брикетів, що утворилося під час їх виготовлення (рис. 2).

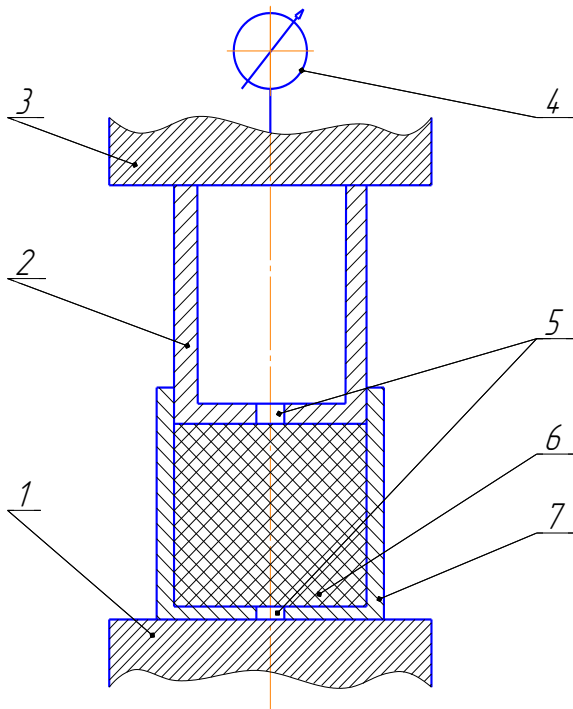


Рисунок 1 – Схема установки для пресування солом'яних брикетів:
1 – нижня плита преса; 2 – пуансон;
3 – верхня плита преса; 4 – силовимірник;
5 – технологічні отвори; 6 – солома;
7 – пустотілий циліндр (матриця)

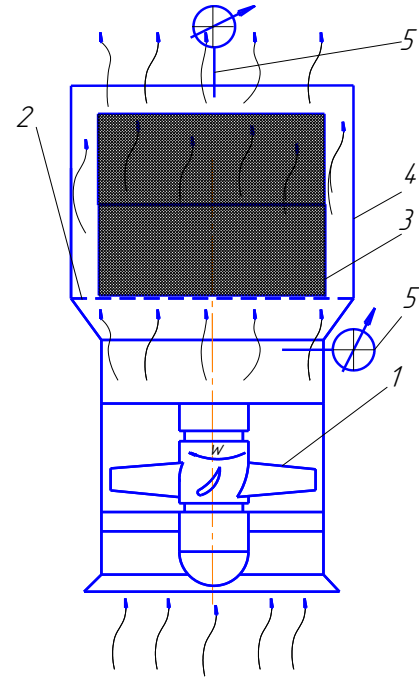


Рисунок 2 – Схема установки для визначення вологості брикетів із соломи:
1 – вентиляторна установка;
2 – сітчасте днище; 3 – солом'яні брикети;
4 – бункер; 5 – анемометр

На основі проведення попередніх дослідів були виконані експериментальні дослідження процесу формування брикетів на ударно-механічному пресі.

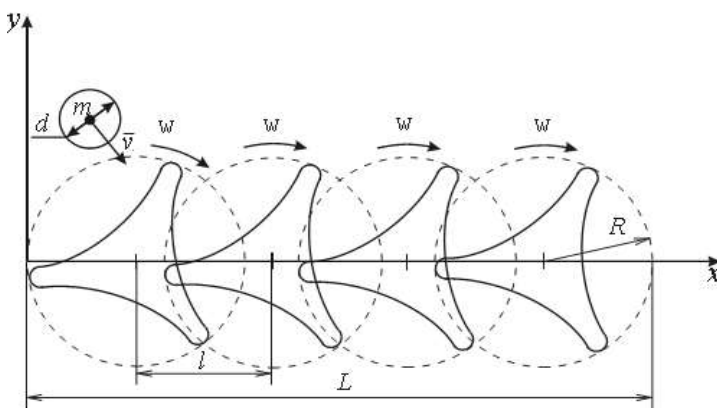


Рисунок 3 – Плоска модель кулачкового транспортера

Після формування на пресі брикети потрапляють на кулачковий транспортер, поздовжня вісь якого розташовується перпендикулярно до вісі пуансона преса. Кулачковий транспортер (рис. 3) складається з чотирьох роторів, що мають три радіальні лопаті, розташованих під кутом 120° , які обертаються в одному напрямку з кутовою швидкістю ω .

Відстань між осями роторів $l < 2R$. Загальна довжина пристрою L становить 4,0 м. Швидкість обертання кулачків визначалась експериментально і повинна забезпечувати проходження відстані L за час, який необхідний для охолодження та сушки брикетів.

Схема сушки брикетів представлена на рис. 4. Згідно запропонованої схеми здійснюється рівномірність процесу охолодження і сушки на кожному етапі в різних режимах. На першому – інтенсивне охолодження і сушка, на другому – інтенсивна сушка за рахунок застосування підігрітого повітря, на третьому – остаточне охолодження брикетів.

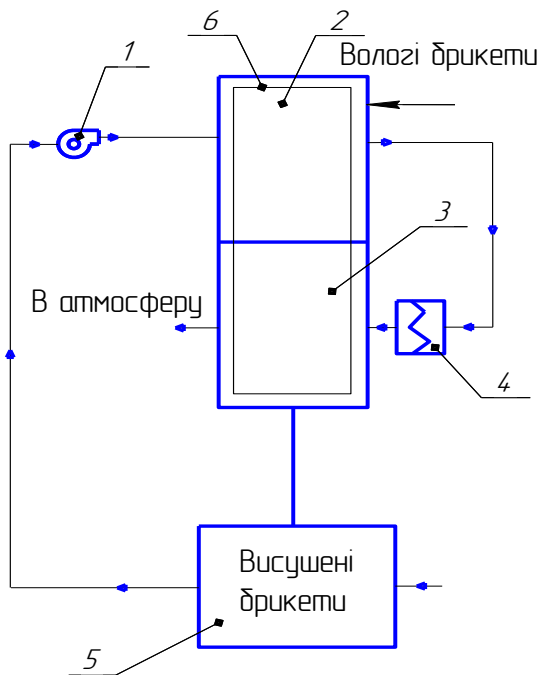


Рисунок 4 – Схема сушки брикетів:

1 – вентиляторна установка; 2 – перша зона сушки; 3 – друга зона сушки; 4 – калорифер; 5 – тара для сухих брикетів; 6 – кулачковий транспортер

При випробуваннях процесів пресування паливних брикетів вирішено реалізувати багатофакторний експеримент. При плануванні експерименту прийнятий для реалізації план, близький до D-оптимального B^4 , заснований на теорії сумісних ефективних оцінок, яка була розвинута Кіфером. При реалізації плану необхідно провести 24 досліди. За вихідний фактор критерію оптимізації прийнято щільність паливних брикетів із соломи ρ . В якості незалежних факторів, що впливають на щільність брикетів, взяті наступні параметри: x_1 – ступінь подрібнення l ; x_2 – вологість соломи w ; x_3 – тиск пресування P ; x_4 – час витримки після пресування t . Модель процесу представляється поліномом другого порядку типу:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^K b_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^K b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^K b_{ii} \cdot x_i^2 + \dots \quad (1)$$

де b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти регресії;

y – значення параметру оптимізації, передбачуване рівнянням;

x_i, x_j – незалежні перемінні – фактори процесу.

Обґрунтовані методики експериментальних досліджень дозволили одержати достовірні результати та стали основою для розробки нових технічних рішень в процесах брикетування соломи, сушки і охолодження паливних брикетів.

У третьому розділі проведено аналіз енергопотенціалу солом'яної біомаси та забруднень довкілля від її нераціональної утилізації.

Оскільки статистика використання соломи у більшості господарств відсутня, то для розрахунку енергопотенціалу соломи використовується статистики валового збору зернових. Дану методику розрахунку можливо використовувати як для окремого регіону або господарства, так і для України в цілому.

Таблиця 1 – Енергопотенціал соломи зернових і соломи озимої пшениці по Україні

| Показники | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|
| Виробництво зернових B_z , тис. т | 53290 | 46028 | 39271 | 56747 | 46200 |
| Виробництво оз. пшениці $B_{оз.пш.}$, тис. т | 25050 | 20037 | 16217 | 21645 | 15132 |
| % озимої пшениці до зернових | 47,01, | 43,53 | 41,30 | 38,14 | 32,7 |
| Коефіцієнт відношення мас k_{ni} | 1 | | | | |
| Коефіцієнт технічної доступності $k_{тд}$ | 0,8 | | | | |
| Технічно доступний потенціал соломи зернових $T_{тд.с.з.} = B_z \cdot k_{ni} \cdot k_{тд}$, тис. т | 42632 | 36822 | 31417 | 45398 | 36960 |
| Технічно доступний потенціал соломи оз. пшениці $T_{тд.с.оз.пш.} = B_{оз.пш.} \cdot k_{ni} \cdot k_{тд}$, тис. т | 20040 | 16030 | 12974 | 17316 | 12106 |
| Коефіцієнт енерговикористання соломи зернових $k_{е.с.з.}$ | 0,2 | | | | |
| Економічний енергопотенціал соломи зернових $E_{с.з.} = T_{тд.с.з.} \cdot k_{е.с.з.}$, тис. т | 8526 | 7364 | 6283 | 9080 | 7392 |
| Коефіцієнт енерговикористання соломи озимої пшениці $k_{е.с.оз.пш.} = \frac{E_{с.з.}}{T_{тд.с.оз.пш.}}$ | 0,43 | 0,46 | 0,48 | 0,52 | 0,61 |
| K_c – калорійний еквівалент для соломи | 0,4777 | | | | |
| Еквівалент умовному паливу, тис. т у. п. $B_y = K_c \cdot E_{с.з.}$ | 4073 | 3518 | 3002 | 4337 | 3531 |
| K_r – калорійний еквівалент для газу | 1,14 | | | | |
| Еквівалент газу, тис. м ³ $N_r = \frac{B_y}{K_r}$ | 3573 | 3086 | 2633 | 3805 | 3098 |
| K_v – калорійний еквівалент для вугілля | 0,627 | | | | |
| Еквівалент вугілля, тис. т $N_v = \frac{B_y}{K_v}$ | 6496 | 5611 | 4787 | 6918 | 5632 |

Враховуючи, що озима пшениця в структурі зернових культур України займає близько 40 % і є технічно доступною, пропонуємо використовувати в енергетичних цілях не 20 % від соломи всіх зернових культур, а в середньому за 2008-2012 роки 50 % від технічно доступної соломи озимої пшениці, що дасть рівний еквівалент близько 3,7 млн т у.п. (3,2 млн м³ газу або 5,9 млн т вугілля). За статистичними даними, споживання палива в усіх опалювальних котельнях, розташованих в сільській місцевості, становить близько 2,9 млн т у. п. на рік, що цілком можливо замінити енергопотенціалом соломи озимої пшениці.

Враховуючи, що озима пшениця в структурі зернових культур Сумського регіону займає в середньому близько 30 % і є технічно доступною, пропонується використовувати не 20 % від соломи всіх зернових культур, а близько 64 % від технічно доступної соломи озимої пшениці, що буде економічно доцільно. Це значення за 2008-2012 роки по Сумській області еквівалентне в середньому 166 тис. т у.п. на рік (146 тис. м³ газу або 265 тис. т вугілля), що підтверджує, значні резерви Сумщини з виробництва та використання альтернативних видів палива на основі солом'яної біомаси.

В роботі проаналізовані проблемні питання пов'язані зі спалюванням соломи в топках котлів та запропоновані підходи у їх вирішенні. До способів вирішення проблем при спалюванні соломи в котлах відносяться такі як брикетування соломи, сушка брикетів, використання в енергетичних цілях соломи озимої пшениці.

Озима пшениця має менший вміст хлору і лужних металів, які призводять до корозії елементів котлів, крім того не використовується для годівлі худоби. Температура плавлення золи соломи озимої пшениці найвища серед зернових колосових культур. Вміст негорючих елементів та допустимий вміст важких металів в золі дозволяють використовувати її в якості добрива. Це ще раз підкреслює доцільність використання соломи озимої пшениці в енергетичних цілях.

Відкрите спалювання соломи – один із основних сільськогосподарських чинників спричинення збитку, прирівняний до промислових викидів в атмосферу. Спалювання пожнивних залишків призводить до викидів цілого ряду атмосферних забрудників: аміаку, оксидів азоту, летких органічних сполук, двоокису сірки, оксиду вуглецю і твердих домішок. Не зважаючи на прийняті закони в Україні на полях щорічно спалюють не менше 20 млн т соломи. Для проведення моніторингу спалювань були використані дані дистанційного зондування Землі з використання супутників Aqua, Terra. Всебічне дослідження даних, отриманих за допомогою системи MODIS, показує, що переважна частина сезонного спалювання стерні і соломи відбувається в серпні, після збирання врожаю зернових культур, а також навесні при підготовці угідь до нового посіву. Використання надлишків соломи в якості палива буде попереджати спалювання соломи на полях.

У **четвертому розділі** представлено теоретичні дослідження процесу охолодження та сушки паливних брикетів.

Схема процесу сушки паливних брикетів може бути представлена у наступному вигляді (рис. 5).

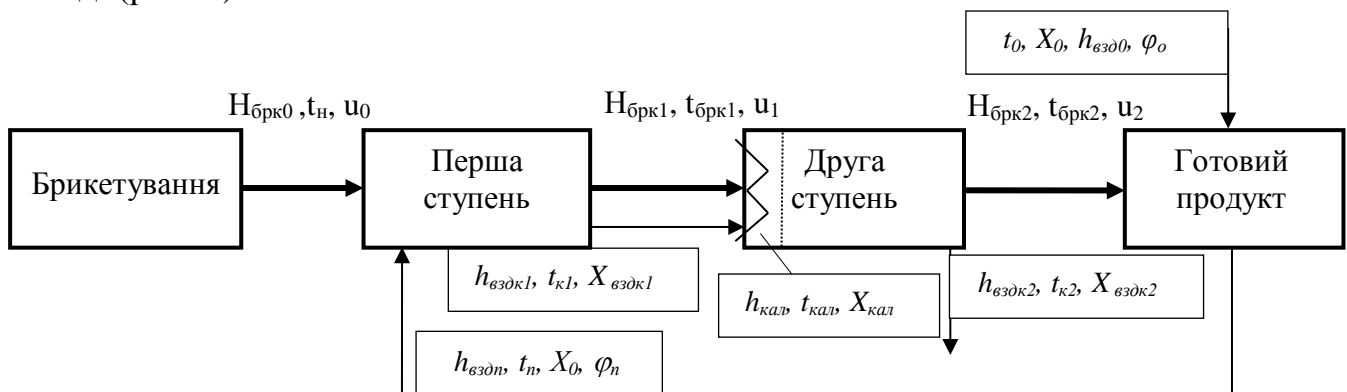


Рисунок 5 – Схема процесу сушки паливних брикетів

Приймаємо, що вхідне повітря відповідає характеристикам атмосферного повітря: середня температура t_0 , °C, відносна вологість ϕ_0 , %.

Вологовміст вхідного атмосферного повітря, кг/кг

$$X_0 = 0,622 \cdot \phi_0 \cdot P_{\text{нвп}} / (P_{\text{атм}} - \phi_0 \cdot P_{\text{нвп}}), \quad (2)$$

де $P_{\text{нвп}}$ – тиск насиченої водяної пари при t_0 , Па;

$P_{\text{атм}}$ – атмосферний тиск, Па.

Питома ентальпія вхідного повітря при прийнятих умовах, кДж/кг

$$h_{взд0} = (C_{взд} + x \cdot C_{пв}) \cdot t_o + r_o \cdot X, \quad (3)$$

де $C_{взд}$ – теплоємність повітря, кДж/кг·К;

$C_{пв}$ – теплоємність парів води, кДж/кг · К;

r_o – питома теплота пароутворення при t_o , кДж/кг.

Температура брикетів, які виходять із пресу t_n , °С.

Визначаємо ентальпію сирого брикету ($H_{брк0}$), яка дорівнює кількості теплоти, що виноситься утвореними брикетами (Q_6) при t_n , °С, кДж

$$H_{брк0} = H_{сск0} + H_{водж0} + H_{взд0}, \quad (4)$$

де $H_{сск0}$, $H_{водж0}$, $H_{взд0}$ – відповідно ентальпія сухої соломи, вільної води, вологого повітря в сирому брикеті, кДж.

Питома ентальпія вхідного підігрітого атмосферного вологого повітря, кДж/кг

$$h_{вздп} = (C_{взд} + x \cdot C_{пв}) \cdot t_n + r_n \cdot X, \quad (5)$$

де $C_{взд}$ – теплоємність повітря, кДж/кг·К;

r_n – питома теплота пароутворення, кДж/кг;

$X_n = X_0$ – вологовміст атмосферного повітря, кг/кг.

Повна ентальпія висушеного брикету, кДж

$$H_{брк2} = H_{сск2} + H_{водж2} + H_{вздк2}. \quad (6)$$

Розрахунок конвективного теплообміну між поверхнею брикету і потоком повітря здійснювали, використовуючи прийоми теорії подібності. Враховуючи мале число рядів брикетів на транспортері, для визначення середнього по поверхні брикетів коефіцієнта тепловіддачі, використовуємо критеріальне рівняння Жукаускаса, пропонуване для розрахунку теплообміну при омиванні потоком теплоносія одиночного циліндра

$$Nu_{жд} = 0,25 Re_{жд}^{0,6} \cdot Pr_{ж}^{0,38} (Pr_{ж} / Pr_c)^{0,25}, \quad (7)$$

де $Nu_{жд}$ – число Нуссельта,

$Re_{жд}$ – число Рейнольдса,

$Pr_{ж}$ – число Прандтля.

Враховуючи малу залежність Pr для газів від температури, формулу представимо у вигляді $Nu_{жд} = 0,25 Re_{жд}^{0,6}$.

Виконаний поліваріантний розрахунок умов теплообміну в першому ряді брикетів. При розрахунках варіювали швидкістю потоку повітря, приймаючи її дискретні значення. Зазначені швидкості, як показали розрахунки, забезпечували турбулентний режим течії повітря і придатність рівняння Жукаускаса.

Розрахунок числа Рейнольдса виконується за формулою

$$Re_{жд} = w \cdot d_{бр} / \nu_{ж}, \quad (8)$$

де w – швидкість лінійна потоку повітря при температурі, м/с;

$\nu_{ж}$ – кінематична в'язкість повітря при температурі, м²/с.

Значення чисел Рейнольдса для прийнятого інтервалу швидкостей задовольняють вимозі по використанню рівняння Жукаускаса

$$1 \cdot 10^3 < Re_{жд} < 2 \cdot 10^5. \quad (9)$$

Розрахунок розмірного коефіцієнта тепловіддачі α вели, виходячи з формули

$$Nu_{жд} = \alpha \cdot d_{бр} / \lambda, \quad (10)$$

при швидкості потоку повітря w , м/с коефіцієнт тепловіддачі α

$$\alpha = Nu_{жд} \cdot \lambda / d_{бр}. \quad (11)$$

Об'єктом поетапних розрахунків є визначення середньої температури теплоносія на виході брикетів з першої ступені та маси води, що випарюється. Приймаємо, що енергія брикетів, яка виділяється в ході зниження їх температури, витрачається на підігрів повітря яке його омиває і на випаровування вологи брикету.

Ентальпія підсушеного брикету на виході з першої ступені апарату, кДж

$$H_{\text{брк1}} = [m_{\text{сс}} \cdot C_{\text{сс}} + m_{\text{вод1}} \cdot C_{\text{вж}} + m_{\text{взд1}} \cdot C_{\text{взд}}] \cdot t_{\text{брк1}}, \quad (12)$$

де $t_{\text{брк1}}$ – середня температура брикету після першої ступені апарату, °C.

Вологовміст повітря $X_{\text{вздк1}}$ на виході з першої ступені апарату, кг/кг

$$X_{\text{вздк1}} = X + \Delta x_1. \quad (13)$$

Питома ентальпія вологого повітря на виході з 1 ступені апарату, кДж/кг

$$h_{\text{вздк1}} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{вздк1}} \cdot C_{\text{пв}}) \cdot t_{\text{к1}} + r_{\text{к1}} \cdot X_{\text{вздк1}}, \quad (14)$$

де $r_{\text{к1}}$ – питома теплота пароутворення при кінцевій температурі потоку, кДж/кг.

Кінцевий вологовміст повітря на виході з другої ступені апарату, кг/кг

$$X_{\text{вздк2}} = X_{\text{вздк1}} + \Delta x_2. \quad (15)$$

Згідно експериментальних даних задаємось температурою брикетів на вході в другу ступень та температурою потоку повітря.

Попередні розрахунки показали, що при максимальній вологості брикетів 20 % в системі недостатньо власної теплової енергії для висушування брикетів до проектних 14 %. Тому перед подачею повітря з першої ступені апарату на другу вводять додатковий його підігрів від зовнішнього джерела (електрокалорифера). При вологості брикетів нижче максимальної визначається необхідна потужність електрокалорифера, а при необхідності, він може бути відключеним.

Після прийняття зазначених припущень проводимо розрахунки, які дозволять визначити температуру, до якої необхідно підігрівати повітря після 1 ступені перед подачею на 2 ступень апарату.

Питома ентальпія вологого повітря на виході з другої ступені апарату, кДж/кг

$$h_{\text{вздк2}} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{вздк2}} \cdot C_{\text{пв}}) \cdot t_{\text{к2}} + r_{\text{к2}} \cdot X_{\text{вздк2}}, \quad (16)$$

де $t_{\text{к2}}$ – температура відпрацьованого повітря на виході з 2 ступені апарату, °C;

$r_{\text{к2}}$ – питома теплота пароутворення при відповідній температурі (°C) брикетів на виході з другої ступені, кДж/кг.

Ентальпія висушеного брикету при відповідній температурі (°C) брикетів на виході з 2 ступені апарату, кДж

$$H_{\text{брк2}} = [m_{\text{сс}} \cdot C_{\text{сс}} + m_{\text{вод2}} \cdot C_{\text{вж}} + m_{\text{взд2}} \cdot C_{\text{взд}}] \cdot t_{\text{брк2}}.$$

Визначаємо питому ентальпію підігрітого повітря на вході в 2 ступень апарату

$$h_{\text{вздн2}} = Q_{\text{вздк2}} / M_{\text{взд}}. \quad (17)$$

Розрахунок питомої ентальпії повітря після підігрівача, кДж/кг

$$h_{\text{кал}} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{вздк1}} \cdot C_{\text{пв}}) \cdot t_{\text{кал}} + r_{\text{н2}} \cdot X_{\text{кал}}, \quad (18)$$

де $t_{\text{кар}}$ – температура підігрітого повітря на вході в другу ступень апарату, °C;

$r_{\text{н2}}$ – питома теплота пароутворення при $t_{\text{кал}}$, кДж/кг;

$X_{\text{кал}} = X_{\text{вздк1}}$ – вологовміст повітря $X_{\text{вздк1}}$ на виході з першої ступені апарату, кг/кг.

Визначення загальної потужності додаткового нагрівача, кВт

$$W_{\text{под}} = Q_{\text{подог}} \cdot n / 3600, \quad (19)$$

де n – число брикетів, що висушуються за 1 годину.

В результаті розрахунків при максимально можливій вхідній вологості брикетів 20 % для досягнення вихідної вологості 14 %, яка забезпечує ефективність спалювання та довготривале зберігання було визначено, що на виході з першої ступені температура брикетів становитиме 60 °С, вологість 16 %.

Для забезпечення досушування брикетів була установлена необхідність підігріву повітря на вході в другу ступень до 73 °С. Установлена фактична потужність підігрівача (електрокалорифера) 2,6 кВт, при фактичній продуктивності преса 90 кг/год. За рахунок цього забезпечується досушування брикетів до необхідної вологості – 14 %, при цьому їх температура на виході із другої ступені становитиме 55 °С, а температура повітря, яке залишає апарат буде становити 58 °С.

В п'ятому розділі наведені результати експериментальних досліджень та їх аналіз. Дослідження властивостей соломи, призначеної для виготовлення паливних брикетів показали, що брикетування соломи для енергетичних цілей можливе тільки після її попереднього подрібнення, а середня вологість соломи складає 21,74 %.

Для зменшення енергозатрат на сушку і забезпечення рівномірного розподілу вологи пропонується обмежитись на підготовчій стадії до пресування заміною сушки на перемішування, яке проходить при подрібненні соломи та механічному пресуванні, коли в спресованому моноліті стикатимуться вологі і сухі частки. Мінімальне зниження вологості складає близько 2 %. Тому, для подальших досліджень приймаємо середню вологість соломи 20 %.

Для практичного використання результатів, отриманих при проведенні попередніх досліджень, були побудовані та проаналізовані залежності щільності брикетів від вологості соломи та тиску пресування (рис. 6, 7).

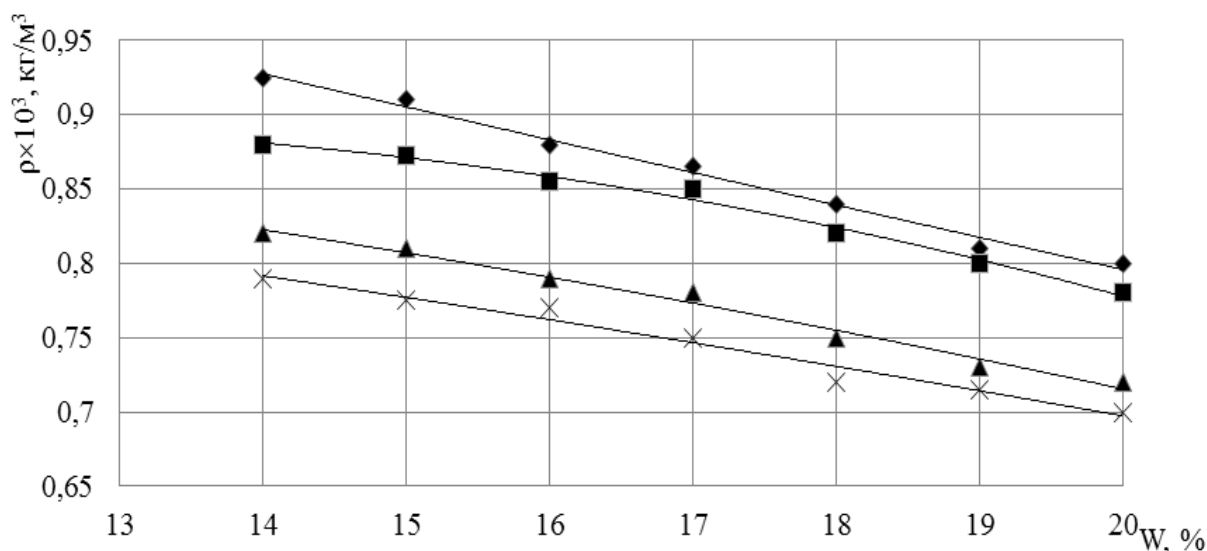


Рисунок 6 – Залежність щільності брикетів від вологості соломи при тиску пресування 120 МПа, часу витримки після пресування – $4,32 \times 10^4$ с, та ступенях подрібнення: \blacklozenge – 5×10^{-3} м; \blacksquare – 7×10^{-3} м; \blacktriangle – $1,0 \times 10^{-2}$ м; \times – $1,5 \times 10^{-2}$ м

Як видно з графіка (рис. 6), щільність зменшується при збільшенні вологості соломи, що пов'язано з тим, що волога запобігає зближенню часток соломи. Щільність також залежить від ступеню подрібнення соломи. Із зменшенням фракції солом'яної біомаси зменшується зусилля пресування та збільшується щільність брикетів.

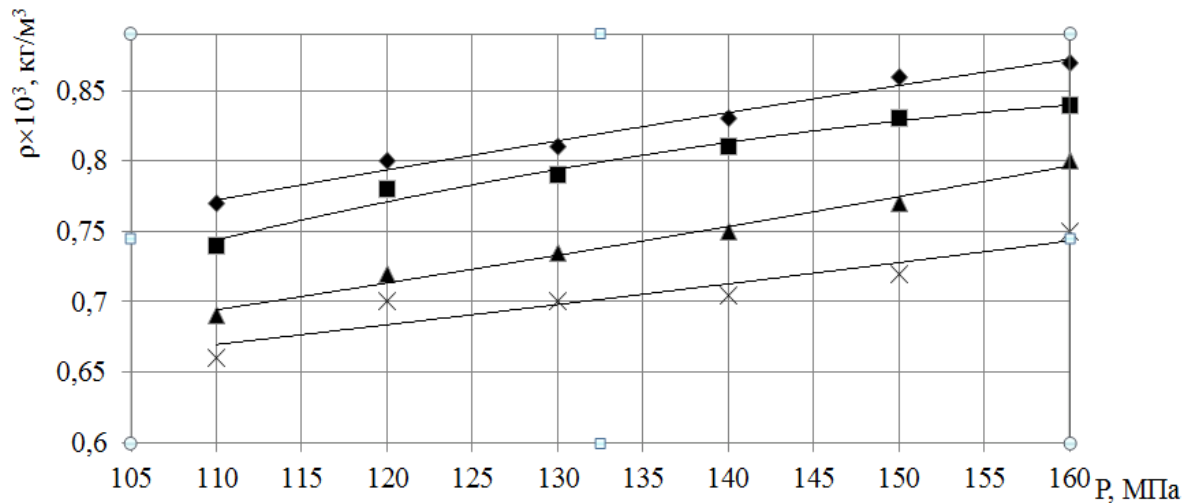


Рисунок 7 – Залежність щільності брикетів із соломи від тиску пресування при вологості соломи 20 %, часу витримки після пресування – $4,32 \times 10^4$ с і розмірі часток: \blacklozenge – $5,0 \times 10^{-3}$ м; \blacksquare – $7,0 \times 10^{-3}$ м; \blacktriangle – $1,0 \times 10^{-2}$ м; \times – $1,5 \times 10^{-2}$ м

Як видно з графіка (рис. 7), із збільшенням тиску йде зростання щільності брикетів при всіх фракціях подрібненої соломи.

Ґрунтуючись на попередніх дослідях були намічені рівні варіювання факторів таким чином, щоб охопити область, в якій доцільно проводити досліди. В експериментах на трьох рівнях варіювались чотири виділених раніше фактора: l (x_1) – ступінь подрібнення соломи $(5,0-15,0) \times 10^{-3}$ м; w (x_2) – вологість соломи 14,0-20,0%; P (x_3) – тиск пресування соломи 110,0-160,0 МПа; t (x_4) – час витримки після пресування $(0,00-4,32) \times 10^4$ с.

Після реалізації експерименту проводилась обробка даних і побудова математичної моделі. По результатам спостережень визначались коефіцієнти регресії b . Розрахунок коефіцієнтів регресії D-оптимального плану і дисперсії адекватності проводився за допомогою прикладного програмного пакета Microsoft Excel. В результаті було отримано значення вихідної величини в закодованому вигляді. Після декодування отримано наступне рівняння:

$$\begin{aligned} \rho = & 1.2160 + 0.0032 \cdot l - 0.0165 \cdot w - 0.038 \cdot P - 0.0118 \cdot t - \\ & - 0.0009 \cdot l^2 + 0.0001 \cdot w^2 + 0.00002 \cdot P^2 + 0.0002 \cdot t^2 + \\ & + 0.0004 \cdot l \cdot w + 0.00004 \cdot l \cdot P + 0.0003 \cdot l \cdot t - 0.00003 \cdot w \cdot P + \\ & + 0.0001 \cdot w \cdot t - 0.00003 \cdot P \cdot t \end{aligned} \quad (20)$$

Для зручності інтерпретації отриманого рівняння (20) був використаний графічний метод представлення залежності зміни щільності отриманих брикетів із соломи від керованих факторів процесу – ступеню подрібнення l , вологості соломи w , тиску пресування P , часу витримки після пресування t .

За допомогою графіків вивчався характер зміни функції оптимізації від зміни одного із факторів при фіксованих інших факторах на постійних рівнях. Показники зміни щільності брикетів були визначені в результаті аналізу залежностей

$$\rho = f(W), \quad \rho = f(l), \quad \rho = f(P).$$

Розрахункові дані залежності щільності брикетів від вище вказаних факторів, отримані по математичній моделі (20) порівнювались з експериментальними і найбільш раціональні приведені на графіках (рис. 8, 9).

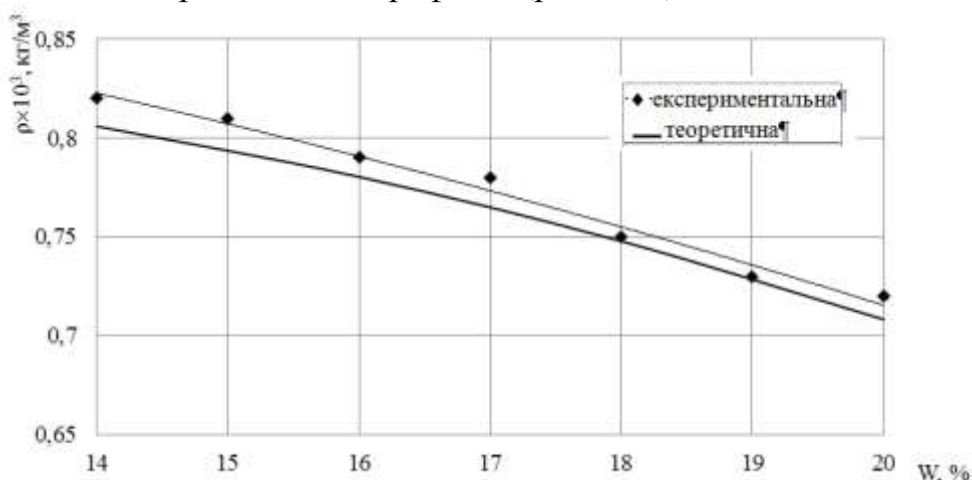


Рисунок 8 – Залежність щільності брикетів від вологості соломи при тиску пресування 120 МПа, часу витримки після пресування – $4,32 \times 10^4$ с та ступені подрібнення $1,0 \times 10^{-2}$ м

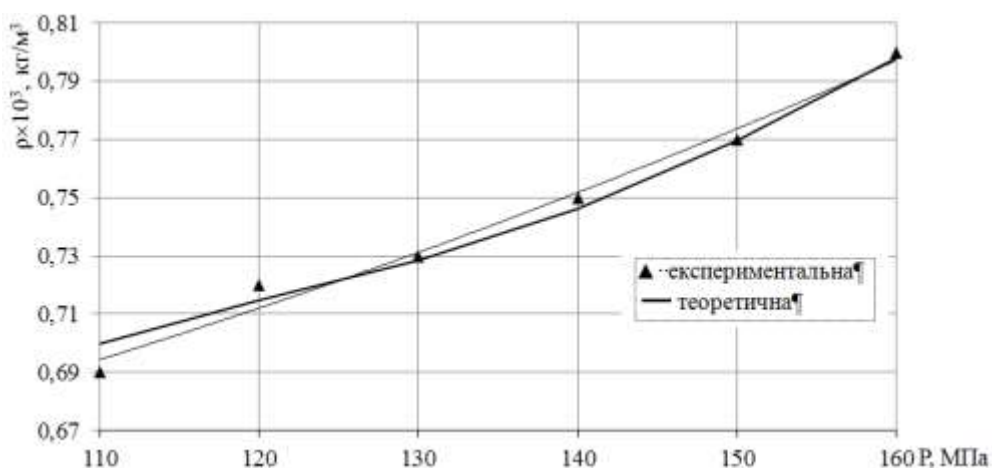


Рисунок 9 – Залежність щільності брикетів із соломи від тиску пресування при вологості соломи 20 %, часу витримки після пресування – $4,32 \times 10^4$ с, розмірі фракції $1,0 \times 10^{-2}$ м

Як видно з рис. 8, 9 результати математичного моделювання наближені до експериментальних даних, що вказує на достовірність результатів досліджень.

Проведені дослідження фізико-механічних властивостей соломи та їх впливу на щільність паливних брикетів довели можливість їх виготовлення із соломи підвищеної вологості та встановили, що найбільш доцільним буде виробництво паливних брикетів при щільності $0,72 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ і максимальній вологості 20 % при ступені подрібнення соломи до $1,0 \times 10^{-2}$ м та тиску 120 МПа.

Для перевірки можливості охолодження та сушки брикетів за рахунок тепла від нагріву при пресуванні, визначення необхідності підведення додаткового тепла та підтвердження теоретичних розрахунків були проведені відповідні дослід. Розрахунки вологості брикетів проводились для часу сушки 750 с (вихід брикетів із першої ступені сушки) та 1500 с (вихід із другої ступені сушки).

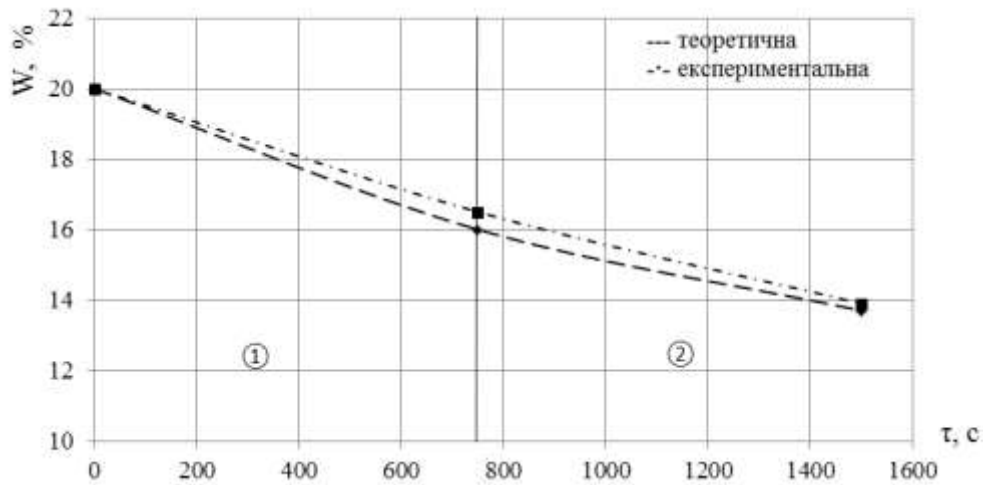


Рисунок 10 – Зміна вологості брикетів при охолодженні та сушці

Як видно з рис. 10, основне зниження вологості проходить на першій ступені сушки – з 20 % до 16 %, на другій ступені зниження вологості йде на 2 %.

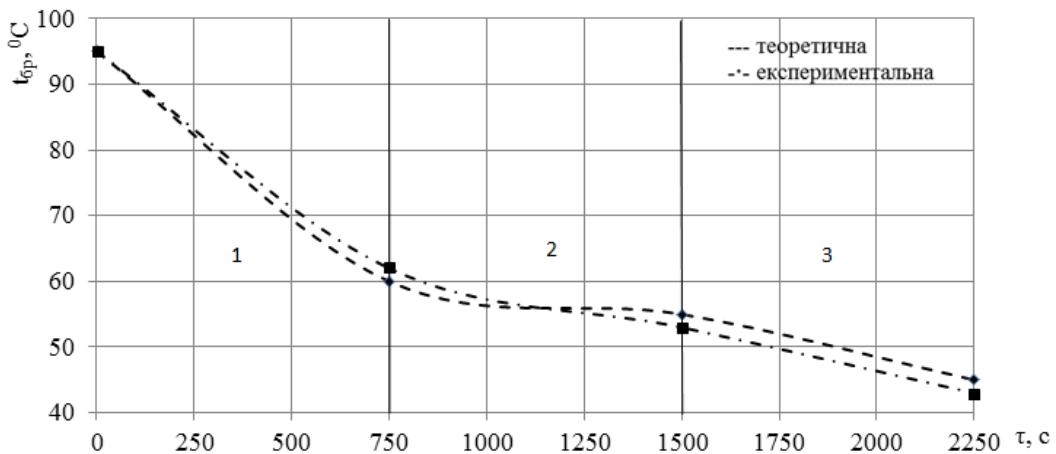


Рисунок 11 – Зміна температури брикету при охолодженні та сушці, $W_{вх} = 20\%$

З графіків теоретичних та експериментальних досліджень (рис. 11) найактивніше охолодження брикетів проходить на 1 ступені – з 95 °C до 60 °C. На другій ступені охолодження здійснюється тільки на 5 °C. Подальше охолодження брикетів виконується на третій ступені.

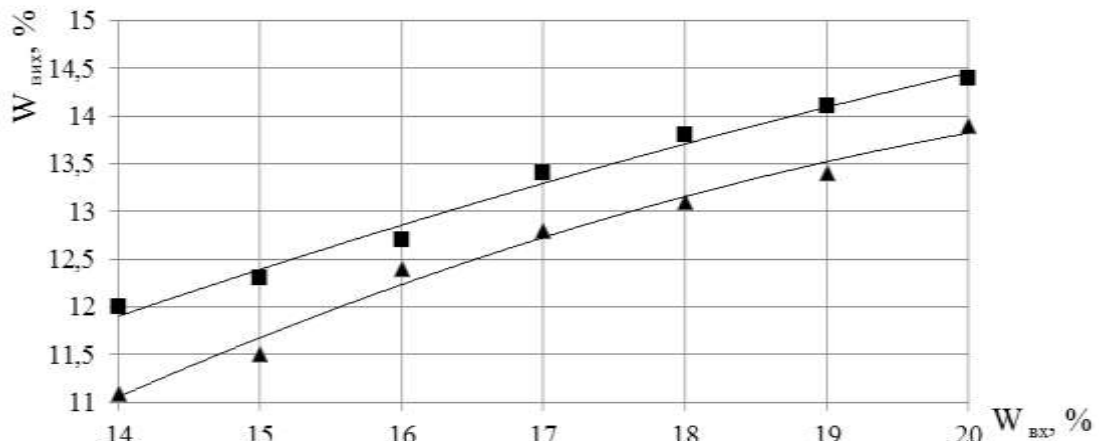


Рисунок 12 – Залежність вихідної вологості брикетів від їх вхідної вологості при $V_n = 2$ м/с; $\tau = 1,5 \times 10^3$ с; Н: \blacktriangle – 1 шар, \blacksquare – 2 шари

При укладці брикетів в два шари на кулачковий транспортер (рис. 12) при сушці проходить збільшення вихідної вологості у порівнянні з одним шаром, що вказує на необхідність збільшення потужності підігрівача повітря на 2 ступені сушки. Тому, нами пропонується для охолодження та сушки паливних брикетів застосовувати укладку брикетів на кулачковому транспортері в один шар.

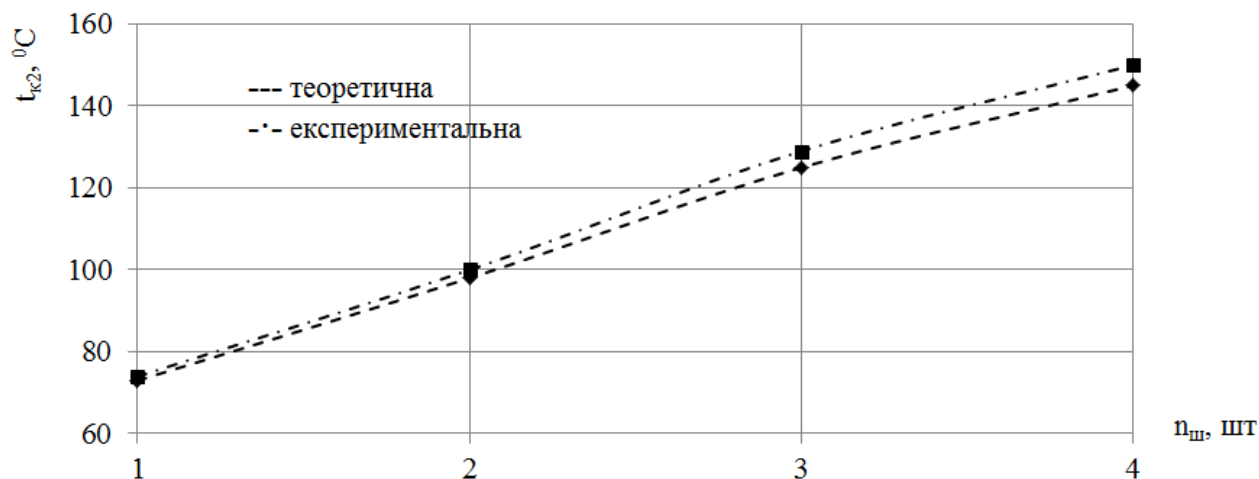


Рисунок 13 – Температура підігріву повітря калорифером на 2 ступені для забезпечення $W_{\text{вих}} = 14\%$ при $W_{\text{вх}} = 20\%$ при різній кількості шарів брикетів

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження вказують на необхідність значного підвищення температури повітря на другій ступені сушки для забезпечення необхідної вологості брикетів – з 73°C при укладці брикетів в один шар до 145°C в чотири шари (рис. 13). Це приведе до підвищення витрат на сушку, збільшення температури агента сушки на виході з сушильного апарату та теплового забруднення довкілля. Тому пропонується для охолодження та сушки застосовувати розташування брикетів в один шар.

У шостому розділі приведена можливість зниження техногенного навантаження на довкілля за рахунок заміщення вугілля солом'яною біомасою.

Згідно попередніх розрахунків, а також статистичних даних існує можливість заміщення вугілля, як найбільшого забруднювача із традиційних джерел енергії, запропонованою солом'яною біомасою, що підтверджується даними табл. 2.

Таблиця 2 – Можливість заміщення вугілля солом'яною біомасою у 2012 році

| Показники | Україна | Сумська область | Харківська область |
|---|---------|-----------------|--------------------|
| Спожито за статистичними даними вугілля, млн т | 73,3 | 0,095 | 3,765 |
| Еквівалент енергопотенціалу соломи вугіллю, млн т | 5,632 | 0,323 | 0,331 |
| Скорочення споживання вугілля, % | 7,68 | 340 | 8,79 |

При використанні вугілля на Україні в кількості 73,3 млн т, можливість заміщення солом'яною біомасою складала 7,68 %.

Згідно статистичних даних в Сумській області у 2012 році було спожито 0,095 млн т вугілля, а за рахунок запропонованої біомаси можлива заміна в 3,4 рази більше ніж використано, що вказує на перспективу можливої заміни більшої кількості вугілля або інших енергетичних матеріалів.

Для прикладу можливості заміщення солом'яною біомасою вугілля наведена Харківська область, де споживання вугілля значно перевищує Сумську, і можливо за рахунок місцевої солом'яної біомаси скоротити споживання вугілля на 8,79 %.

Для практичних цілей аналізу зниження техногенного навантаження на довкілля пропонується обґрунтовувати екологічну оцінку на такому ключовому показнику як баланс парникових газів.

Для прийнятих коефіцієнтів утворення CO₂ при спалюванні вугілля та біомаси, згідно розрахунків були отримані значення можливих викидів, що представлені графічно на рис. 14.

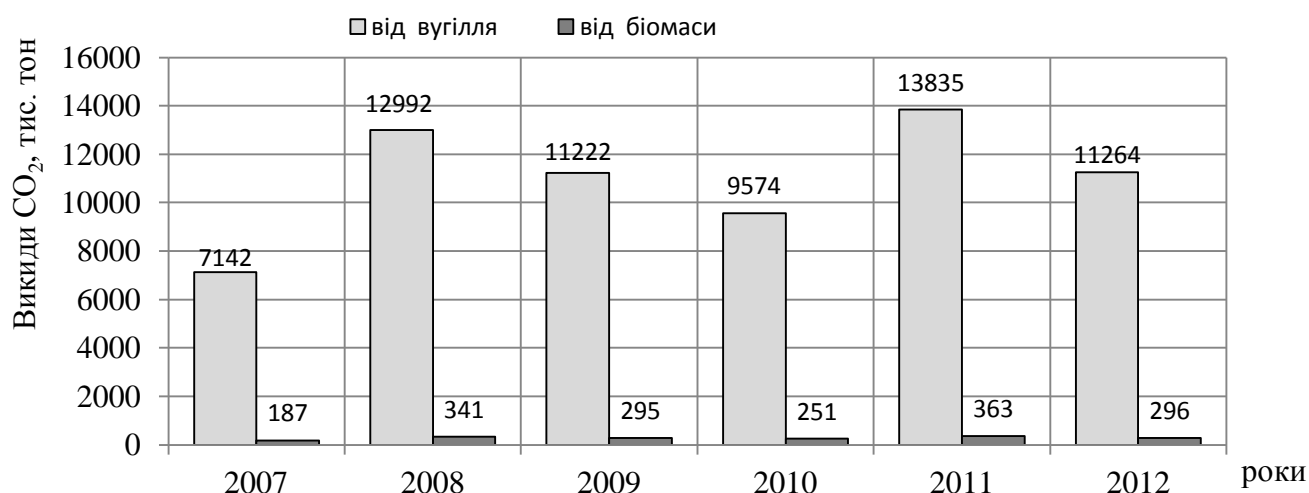


Рисунок 14 – Викиди CO₂ від спалювання еквівалентної кількості вугілля і солом'яної біомаси, тис. т

Незважаючи на можливі коливання викидів CO₂ по рокам, які залежать від валового збору озимої пшениці, різниця між викидами від спалювання вугілля і біомаси в еквівалентній кількості складає 97,4 %, що доводить необхідність такої заміни з точки зору можливості зниження техногенного навантаження на довкілля.

Якщо розглядати солом'яну як CO₂-нейтральне паливо, то враховуючи додаткові викиди CO₂ при зборі, транспортуванні і підготовці соломи до спалювання, зниження емісії CO₂ при заміні вугілля на солом'яну складає близько 90 %.

Порівняння статистичних даних за 2007-2012 роки по викидах від стаціонарних джерел забруднення з можливим розрахунковим скороченням викидів від заміни фактично спаленого вугілля солом'яною біомасою приведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Можливе скорочення викидів CO₂ за рахунок заміни фактично спаленого вугілля солом'яною біомасою на Україні

| Показники | Роки | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|
| | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| Вугілля в структурі енергоматеріалів, % | 25,2 | 26,8 | 27,7 | 27,9 | 30,6 | 32,5 |
| Викиди CO ₂ стаціонарними джерелами, млн т | 184 | 174 | 153 | 165 | 202 | 198 |
| Скорочення викидів CO ₂ від заміни вугілля біомасою, млн т | 6,9 | 12,6 | 10,9 | 9,3 | 13,5 | 10,9 |
| Скорочення викидів CO ₂ від заміни вугілля біомасою, % | 3,8 | 7,2 | 7,1 | 5,6 | 6,7 | 5,5 |

Зростання кількості вугілля в структурі енергоресурсів України буде приводити до зростання викидів CO₂ стаціонарними джерелами енергії. Скорочення викидів CO₂ від заміни вугілля солом'яною біомасою може складати в середньому біля 6%.

Орієнтовні дані по викидах в атмосферне повітря діоксиду сірки, оксиду азоту, оксиду вуглецю, сажі можуть змінюватись в широких межах, оскільки залежать від багатьох факторів: виду вугілля, біомаси, способів спалювання. Але незалежно від конкретних значень, біомаса завжди буде давати значно нижчі показники викидів, ніж вугілля, що і доводить можливість і необхідність подібного заміщення.

З метою удосконалення існуючої технологічної схеми виготовлення паливних брикетів із солом'яної біомаси, розроблена наступна технологічна схема (рис. 15).

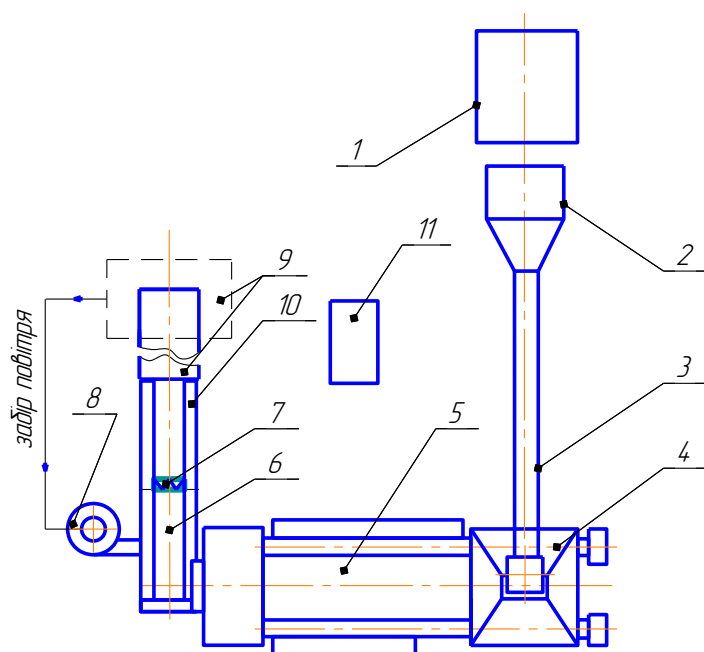


Рисунок 15 – Удосконалена схема переробки соломи в паливні брикети:

1 – подрібнювач соломи; 2 – бункер подрібненої соломи; 3 – транспортер подрібненої соломи; 4 – бункер-живильник; 5 – прес брикетувальний; 6 – апарат сушильний з кулачковим транспортером; 7 – електрокалорифер; 8 – вентилятор; 9 – вузол завантаження паливних брикетів в тару; 10 – лоток збору крихти; 11 – пульт керування

Застосування тепла від нагріву при пресуванні для сушки брикетів від максимальної вологості 20 % до 14 % забезпечує, згідно розрахунків, зменшення в 2,5 рази витрат енергії на сушку соломи у порівнянні з типовою схемою переробки. При вологості брикетів нижче 18,5 % можлива їх сушка без підведення додаткової енергії. Це значно скоротить витрати на сушку, зменшить викиди забруднюючих речовин за рахунок відмови від спалювання палива в теплогенераторі для сушки соломи, а також зменшує теплове забруднення довкілля.

Зменшення металоємності забезпечується за рахунок відсутності в запропонованій технології як вузла охолодження, так і типової сушарки (як правило барабанної). Відмова від останньої зменшить витрати енергії, експлуатаційні витрати, витрати праці, що вплине на собівартість продукції, забезпечить спрощення технологічного процесу виготовлення паливних брикетів

Утворені по запропонованій технології брикети по більшості характеристик відповідають класифікації CEN/TS.

Матеріали дисертаційної роботи впроваджені на ТОВ «Сумифітофармація» (м. Суми), Дослідній станції луб'яних культур Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН (м. Глухів), ТОВ НВП «Електромаш» (м. Суми).

ВИСНОВКИ

1. На основі оцінки енергопотенціалу соломи по валовому збору зерна і особливостей використання солом'яної біомаси обґрунтована можливість її раціональної утилізації з отриманням твердого біопалива у вигляді брикетів.

2. Визначена можливість енергетичного використання замість 20 % соломи всіх зернових культур еквівалентної кількості технічно доступної соломи озимої пшениці в кількості 64 % по Сумській області та 50 % по Україні виходячи із об'єму накопичення, основних паливно-технологічних характеристик, аналізу проблем при спалюванні соломи в котлах та можливості утилізації золи.

3. Проведені теоретичні дослідження процесу охолодження та сушки паливних брикетів із солом'яної біомаси установили, що маса води, що видаляється з брикету на першій ступені апарату за рахунок теплової енергії, яка вноситься гарячим брикетом достатня для зниження вологості брикету від вхідної 20 % до вихідної 16 %, а ентальпія свіжеприготованого сирого брикету вказує на її співмірність з необхідною кількістю тепла для видалення частини вологи при сушці. Для забезпечення досушування брикетів на 2 % на другій ступені була встановлена необхідність підігріву повітря на вході до 73 °С.

4. На основі експериментальних даних була розроблена математична модель впливу на щільність паливних брикетів найбільш значущих параметрів: вологості соломи, ступеню її подрібнення, часу витримки після пресування, тиску пресування. Згідно проведених досліджень достатня щільності паливних брикетів для застосування в якості місцевого палива ($0,72 \times 10^3$ кг/м³) буде забезпечена при виробництві паливних брикетів з максимальною вологістю 20 % при ступеню подрібнення соломи $1,0 \times 10^{-2}$ м та тиску пресування 120 МПа з витримкою після пресування $4,32 \times 10^4$ с.

5. В результаті проведених експериментальних досліджень процесу охолодження та сушки паливних брикетів підтвердились теоретичні розрахунки можливості використання тепла брикетів від нагріву при пресуванні для їх сушки за рахунок зниження на першій ступені запропонованого тепломасообмінного апарату вологості брикетів на 4 % із необхідних 6 %.

6. Заміщення вугілля еквівалентною кількістю солом'яної біомаси дасть скорочення викидів парникових газів в кількості не менше 90 %, зниження викидів інших шкідливих речовин: SO₂, NO_x, CO буде не менш ніж 60 %.

7. Використання удосконаленої технології виготовлення паливних брикетів дає змогу знизити витрати енергії на сушку в 2,5 рази при сушці з 20 % до 14 %; знизити металоємність, вартість обладнання, експлуатаційні витрати, площі під устаткуванням та витрати праці а, відповідно, й собівартість продукції за рахунок відсутності вузла охолодження і типової сушарки; зменшує забруднення довкілля через відсутність спалювання палива в теплогенераторі для сушки соломи, а також зменшує теплове забруднення довкілля.

8. Впровадження результатів досліджень виконано на ТОВ «Сумифітофармація» (м. Суми), Дослідній станції луб'яних культур Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН (м. Глухів), ТОВ НВП «Електромаш» (м. Суми), економічний ефект від яких склав 46070 грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Біоенергетичний потенціал лісостепової і поліської зон України та перспективи його використання: монографія / [В. Ладика, Ю. Семірненко, С. Семірненко та ін.]; за заг. ред. В.І. Ладика. – Суми: Університетська книга, 2009. – 304 с.

Здобувачем визначено напрямки використання соломи та методи одержання енергії із соломи, що сприяють зниженню шкідливих викидів в атмосферу.

2. Семірненко Ю.І. Вторинна продукція сільського господарства як альтернативне джерело енергії / Ю.І. Семірненко, С.Л. Семірненко // Вісник Сумського національного аграрного університету: (механізація та автоматизація виробничих процесів). – 2006. – Вип. 9(15). – С. 184–188.

Здобувачем розглянуто потенціал рослинних відходів на Україні та проаналізована можливість використання їх як альтернативного джерела енергії.

3. Довжик М.Я. Можливості використання біомаси для альтернативної енергії / М.Я. Довжик, С.Л. Семірненко, Ю.І. Семірненко // Вісник Сумського національного аграрного університету: (механізація та автоматизація виробничих процесів). – 2007. – Вип. 1(16). – С. 124–127.

Здобувачем проаналізовані переваги і недоліки використання рослинної біомаси, потенційно доступної для отримання енергії, з точки зору екологічної безпеки.

4. Семірненко С.Л. Використання соломи злакових культур як енергетичної сировини/ С.Л. Семірненко // Вісник Сумського національного аграрного університету: (механізація та автоматизація виробничих процесів). – 2008. – Вип. 1(17). – С. 54–55.

5. Чухрай В. Дослідження раціональної вологості паливних брикетів із соломи з метою зниження вмісту шкідливих речовин / В.Чухрай, Р. Чучман, С. Семірненко // Вісник Львівського національного аграрного університету, агроінженерні дослідження, №15. Львів, 2011. – С. 462–468.

Здобувачем досліджено вплив вологості соломи на технологічні показники при використанні соломи в енергетичних цілях.

6. Семірненко С.Л. Дослідження залежності щільності брикетів із соломи озимої пшениці від деяких факторів / С.Л. Семірненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства: (системотехніка і технології лісового комплексу). – 2011. – Вип. 111. – С. 112–120.

7. Семірненко С.Л. Дослідження сушки солом'яної біомаси / С.Л. Семірненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства: (технічний сервіс машин для рослинництва). – 2012, – Вип. 121. – С. 256–261.

8. Семірненко С. Л. Брикетування соломи як альтернатива сільськогосподарським спалюванням / С. Л. Семірненко, Ю. І. Семірненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства: (технічний сервіс машин для рослинництва). – 2013, – Випуск 134. – С. 271–275.

Здобувачем запропоновано стратегію утилізації залишків рослинної біомаси з метою захисту навколишнього середовища від наслідків спалюванням їх на полях.

9. Семирненко С. Л. Исследование рационального использования соломенной биомассы с целью уменьшения техногенной нагрузки / С. Л. Семирненко // Молодой ученый. – 2013. – №3 (50). – С. 98–102.

10. Семирненко С. Л. Усовершенствование технологии изготовления топливных брикетов из соломенной биомассы / С. Л. Семирненко, Ю. И. Семирненко, М. Я. Довжик // Молодой ученый. – 2013. – №10 (57). – С. 190-193.

Здобувачем запропонована удосконалена технологія отримання паливних брикетів із соломи, що буде сприяти зменшенню шкідливих викидів в атмосферу.

11. Семірненко Ю.І. Перспективи та проблеми поновлювальної енергетики / Ю.І. Семірненко, С.Л. Семірненко // Матеріали наук.-практ. конф. викладачів, аспірантів та студентів СНАУ, 20-29 квітня 2009 р.: тези / М-во аграрної політики України, СНАУ. – Суми, 2009. – С. 153–154. (здобувачем проаналізовані переваги і недоліків поновлювальних джерел енергії).

12. Семірненко С.Л. Вторинна продукція АПК, як джерело енергії / С.Л. Семірненко, А.О. Пестун // Матеріали наук. конф. студентів СНАУ, 8-12 листопада 2010 р.: тези / М-во аграрної політики України, СНАУ. – Суми, 2010. – С. 27.

Здобувачем розкриті переваги біомаси як палива з погляду виробників, екологів та споживачів.

13. Семірненко С.Л. Передумови до вирішення проблеми застосування біоенергетики в Україні / С.Л. Семірненко // Матеріали наук.-практ. конф. викладачів, аспірантів та студентів СНАУ, 20-29 квіт. 2011 р.: тези / М-во аграрної політики та продовольства України, СНАУ. – Суми, 2011. – С. 36.

14. Семірненко С.Л. Визначення залежності щільності солом'яних брикетів від часу / С.Л. Семірненко, Ю.І. Семірненко // Збірник тез доповідей за підсумками Всеукраїнської студентської, аспірантської та викладацької науково-практичної конференції: «Досягнення та перспективи галузі сільськогосподарського виробництва», 15 квітня 2011 р.: тези та доповідь / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Кіровоградський національний технічний університет. – Кіровоград, 2011. – С. 44–45.

Здобувачем проведені експериментальні дослідження по визначенню залежності щільності брикетів соломи озимої пшениці від часу після пресування.

15. Семірненко С.Л. Екологічні аспекти використання соломи як палива / С.Л. Семірненко // Сборник тезисов по материалам 17й междунар. науч.-метод. конф. «Технологии XXI века», 12-17 сент. 2011 г.: тези / СНАУ, ХПИ, ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Алушта, 2011. – С. 69–70.

16. Семірненко С.Л. Екологічні аспекти використання солом'яної біомаси як модифікованого палива / С.Л. Семірненко // Сборник тезисов по материалам 18^й междунар. науч. конф. «Технологии XXI века», 12-17 сентября 2012 г.: тези / СНАУ, ХПИ, ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Алушта, 2012. – С. 114–115.

17. Семірненко С.Л. Шкода довкіллю від сільгосппалів і шляхи вирішення / С.Л. Семірненко // Матеріали наук. конф. студентів СНАУ, 12-16 листопада 2012 р.: тези / М-во аграрної політики України, СНАУ. – Суми, 2012. – С. 4.

18. Семірненко С.Л. Перспективи використання солом'яної біомаси в АПК України / С.Л. Семірненко, Ю.І. Семірненко // Матеріали наук.-практ. конф. викладачів, аспірантів та студентів СНАУ, 15-19 квітня 2013 р.: тези / М-во аграрної політики України, СНАУ. – Суми, 2013. – С. 99.

Здобувачем розрахований енергетичний потенціал соломи зернових на Україні в залежності від площі та врожайності, що підтверджує достатність для забезпечення паливом котелень у сільській місцевості.

АНОТАЦІЯ

Семірненко С.Л. Зниження техногенного навантаження на довкілля за рахунок удосконалення технології утилізації біомаси. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України, Суми, 2014.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню можливості зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище шляхом утилізації невикористаної в сільському господарстві рослинної біомаси.

На основі проведеного аналізу визначені екологічні переваги енергетичного використання солом'яної біомаси, її паливні характеристики та існуючі методи утилізації.

Обґрунтований вибір соломи озимої пшениці для виготовлення паливних брикетів та доведена можливість і необхідність утилізації золи використанням в якості добрива.

Виконані теоретичні дослідження процесу охолодження та сушки паливних брикетів вказують на можливість використання тепла від нагріву брикетів при пресуванні для їх сушки.

Проведені дослідження фізико-механічних властивостей соломи та їх впливу на щільність паливних брикетів довели можливість виготовлення паливних брикетів із соломи підвищеної вологості та встановили, що найбільш доцільним буде виробництво паливних брикетів при оптимальній щільності і максимальній вологості 20 % при ступені подрібнення соломи до 10 мм та тиску 120 МПа.

Розроблена удосконалена технологія виробництва паливних брикетів, яка забезпечує зменшення витрат на сушку і підвищення рівня екологічної безпеки при утилізації брикетованої соломи.

Ключові слова: техногенне навантаження, паливо, вугілля, солома, озима пшениця, довкілля, CO₂, біомаса, утилізація, брикети, сушка, охолодження.

АННОТАЦИЯ

Семирненко С.Л. Снижение техногенной нагрузки на окружающую среду за счет усовершенствования технологии утилизации биомассы. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Сумский государственный университет, Сумы, 2014.

Диссертационная работа посвящена исследованию возможности уменьшения техногенной нагрузки на окружающую среду путем утилизации неиспользованной в сельском хозяйстве растительной биомассы.

На основе проведенного анализа определены экологические преимущества энергетического использования соломенной биомассы, ее топливные характеристики и существующие методы утилизации для выявления возможности дальнейшего применения в энергетических целях.

На основе проведенного мониторинга соломенной биомассы на Украине и в Сумской области, разработана методика оценки энергopotенциала соломы по валовому сбору зерна.

Обоснован выбор соломы озимой пшеницы для изготовления топливных брикетов по основным топливно-технологическим характеристикам, объему накопления и анализу проблем при сжигании соломы в котлах.

Проведенный анализ сжигания пожнивных остатков на полях Украины и Сумской области, а также анализ вредных выбросов от них доказывает целесообразность использования не менее 20 % соломы в энергетических целях.

Доказана возможность и необходимость утилизации золы, образованной при сжигании соломы озимой пшеницы, использованием в качестве удобрения для улучшения плодородия почвы.

Выполненные теоретические исследования процесса охлаждения и сушки топливных брикетов указывают на возможность использования тепла брикетов от нагрева при прессовании для их сушки, что значительно сократит затраты на процесс сушки, а также уменьшит выбросы загрязняющих веществ за счет отказа от использования топлива для сушки соломы.

Проведенные исследования физико-механических свойств соломы и их влияния на плотность топливных брикетов доказали возможность изготовления брикетов из соломы повышенной влажности и установили, что наиболее целесообразным будет производство топливных брикетов при оптимальной плотности и максимальной влажности 20% при степени измельчения соломы до 10 мм и давления 120 МПа.

Проведенные экспериментальные исследования топливных брикетов при охлаждении и сушке доказали возможность снижения их влажности за счет использования тепла от нагрева при прессовании. Для обеспечения оптимальной конечной влажности брикетов при максимальной входной влажности (20 %) было установлено, что для времени сушки – $1,5 \times 10^3$ с и скорости воздушного потока – 2 м/с основное снижение влажности идет на первой ступени аппарата для охлаждения и сушки. На ней же идет и наиболее интенсивное их охлаждение.

Установлено, что наиболее целесообразно выполнять охлаждение и сушку брикетов при укладке их в один слой на кулачковом транспортере.

Разработана усовершенствованная технология производства топливных брикетов, которая обеспечивает уменьшение затрат на сушку и повышение уровня экологической безопасности при утилизации брикетированной соломы.

Проведенные сравнения соответствия полученных по усовершенствованной технологии брикетов стандартам и техническим условиям показали соответствие по большинству характеристик классификации CEN/TS при меньших затратах на их изготовление и уменьшении вредных выбросов в окружающую среду.

Определена возможность снижения техногенной нагрузки на окружающую среду при замещении угольного топлива соломенной биомассой и за счет снижения влажности соломенных брикетов до оптимальной.

Внедрена усовершенствованная технология утилизации соломы в производство.

Ключевые слова: техногенная нагрузка, топливо, уголь, солома, озимая пшеница, окружающая среда, CO₂, биомасса, утилизация, брикеты, сушка, охлаждение.

SUMMARY

Semirnenko S.L. Reducing the environmental impact by improving the utilization of biomass technology. –The manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 21.06.01 – ecological safety. – Sumy State University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy, 2014.

The thesis is devoted to study the possibility of reducing anthropogenic impact on the environment by disposing of unused agricultural biomass.

Based on the analysis there have been identified the environmental benefits of the energy use of biomass straw, its fuel properties and existing methods of disposal.

The choice of winter wheat straw for production of fuel pellets and proved the possibility and necessity of recycling ash use as fertilizer.

Theoretical study of the process of cooling and drying of fuel pellets indicate the possibility of using heat from heating briquettes in pressing for their drying.

Past studies of physical and mechanical properties of straw and their effect on the density of fuel pellets showed possibility of producing fuel briquettes from straw of high humidity and found that the most appropriate to the production of fuel pellets at optimum density and maximum humidity of 20% at stage shredding straw to 10 mm and pressure 120 MPa.

There is developed advanced technology of fuel pellets, which would reduce the costs of drying and improve environmental safety in the disposal of baled straw.

Keywords: human impacts, fuel, coal, straw, winter wheat, the environment, CO₂, biomass, waste, briquettes, drying, cooling.